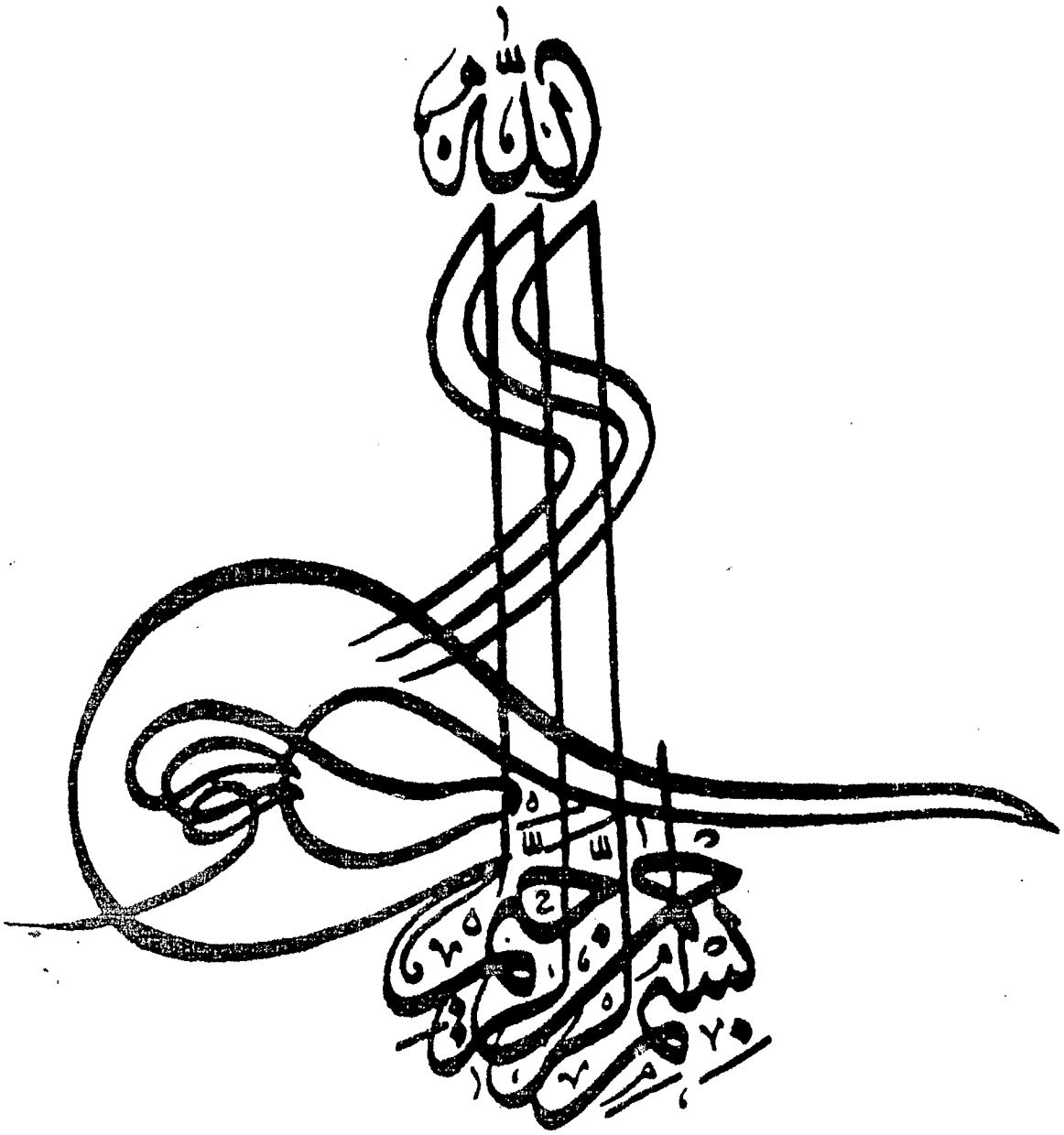


١٠٨٧٩٤

۸۷/۱۱۰۹۸۷۲
۸۷/۱۱/۱۷

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مواد

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد گرایش شناسایی و انتخاب مواد فلزی

بررسی اثر زمان آلیاژسازی مکانیکی و ترکیب شیمیایی بر خواص میکروساختاری و مغناطیسی آلیاژ نانو ساختار آهن-کبالت

اساتید راهنما:
دکتر شهریار شرفی
دکتر مرتضی زند رحیمی

۱۳۸۷/۱۲/۲۷

مولف:
مهدی دلشاد چرمهینی

تابستان ۱۳۸۷

۱۰۸۷۹۴

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی متالورژی
دانشکده‌ی فنی و مهندسی
دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره‌ی مزبور شناخته نمی‌شود.

نام و نام خانوادگی: امضاء:

دانشجو: مهدی دلشاد چرمهینی

استاد راهنما۱: دکتر شهریار شرفی

استاد راهنما۲ : دکتر مرتضی زند رحیمی

داور۱: دکتر رامین رئیس زاده

داور۲: دکتر مریم احتشام زاده

نماینده تحصیلات تکمیلی: مهندس اطهره دادگری نژاد

حق چاپ محفوظ و مخصوص دانشگاه است

تشکرو قدردانی

سپاس معبودی را که عشق به آموختن را در دل انسانها به‌ودیعه نهاد.
از استاتید گرانقدرجناب آقای دکتر شرفی ودکتر زند رحیمی که راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده داشتند تشکر می‌نمایم. سپاس و تشکر ویژه خود را تقدیم می‌دارم به استاد گرانقدر جناب آقای دکتر شکراللهی که مشاور و همراه اینجانب در انجام و نگارش این رساله بودند.
تشکر خود را به داوران محترم این پایان‌نامه جناب آقای دکتررئیس‌زاده و خانم دکتر احتشام-زاده تقدیم می‌دارم و زحماتشان را سپاس می‌گویم.
از جناب آقای مهندس میرزایی به خاطر راهنمایی و همکاری صمیمانه‌اشان کمال تشکر را دارم. از جناب آقای دکتر الماسی در دانشگاه کاشان خانم‌ها بقایی و دادگری‌نژاد در دانشگاه شهید باهنر کرمان که در انجام آزمایشات مختلف این پروژه اینجانب را یاری نمودند ،تشکر نموده و برایشان توفیق روز افزون و سربلندی آرزو می‌کنم .
یاد وخاطره‌ی خاله و شوهر خاله‌ی عزیزم که غروب غم‌انگیزشان در حین انجام این پایان‌نامه تلخ‌ترین حادثه‌ی زندگی‌ام بود را گرامی می‌دارم.
پاک‌ترین و صادقانه‌ترین سپاس و قدردانی خود را از نخستین آموزگارانم پدرو مادر فداکارم دارم آنان که دریای بیکران مهر خویش را بی دریق بر من ارزانی داشتند. از خواهر کوچکم و برادر عزیزم به خاطر تشویق‌ها و دلگرمی‌هایشان تشکر می‌نمایم.

در خاتمه از درگاه خداوند متعال طول عمر و توفیق روز افزون اساتید محترم و دانش‌پژوهان گرامی را در دستیابی به اهداف عالیه مسئلت دارم.

چکیده

در تحقیق حاضر، پودرهای نانوکریستالی (۰/۲۵ و ۰/۵ ،۰/۶۵ ،۰/۹ ،۱=X) Fe_xCo_{x-1} در زمان‌های مختلف با استفاده از یک آسیاب انرژی بالا تولید شدند. در ادامه نمونه‌ها توسط آنالیز تفرق اشعه ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (SEM) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. به علاوه تست‌های مغناطیسی در دمای محیط و با استفاده از یک دستگاه مغناطیس‌سنج (VSM) انجام شد. با توجه به نتایج تحقیقات، بعد از ۸ ساعت عملیات آسیاب‌کاری یک آلیاژ نانوکریستال آهن-کبالت با ساختار کریستالی bcc با اندازه دانه ۱۲ نانومتر تشکیل شد. با افزایش زمان آسیاب، پارامتر شبکه برای نمونه آهن خالص و Fe-۱۰٪Co افزایش یافت درحالیکه برای درصدهای بالاتر کبالت ، ثابت شبکه کاهش قابل توجهی از خود نشان داد. بیشترین مقدار مغناطش اشباع برای ترکیب Fe-۳۵٪Co و بعد از ۴۵ ساعت آلیاژسازی مکانیکی حاصل شد. مقدار نیروی مغناطیس‌زدا تا ۳ ساعت آسیاب‌کاری افزایش یافته و در ادامه بعد از ۸ ساعت آلیاژسازی به میزان قابل توجهی کاهش یافته سپس به مقدار ثابتی رسید.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم:تئوری و مروری بر منابع	۴
۲-۱- تئوری آلیاژسازی مکانیکی	۴
۲-۲- فرایند آلیاژسازی مکانیکی	۵
۲-۳- متغییرهای فرایند آلیاژسازی مکانیکی	۶
۲-۳-۱- ماده اولیه	۷
۲-۳-۲- انواع آسیاب های مورد استفاده در فرایند آلیاژسازی مکانیکی	۷
۲-۳-۲-۱- آسیاب سایشی	۸
۲-۳-۲-۲- آسیاب ارتعاشی	۱۰
۲-۳-۲-۳- آسیاب سیاره ای	۱۱
۲-۳-۲-۴- آسیاب گلوله ای افقی	۱۲
۲-۳-۲-۵- آسیاب های تجارتی	۱۲
۲-۳-۳- محفظه آسیاب	۱۵
۲-۳-۴- میزان فضای اشغال شده محفظه آسیاب	۱۶
۲-۳-۵- گلوله های آسیاب	۱۶
۲-۳-۶- نسبت وزنی گلوله به پودر	۱۷
۲-۳-۷- اتمسفر آسیاب	۱۷
۲-۳-۸- سرعت آسیاب کاری	۱۸
۲-۳-۹- زمان آسیاب کاری	۱۸
۲-۳-۱۰- عامل کنترل فرایند	۱۸
۲-۳-۱۱- دمای آسیاب کاری	۱۹
۲-۴- فاکتورهای مغناطیسی مهم در بررسی خواص مغناطیسی مواد	۲۰
۲-۴-۱- نیروی مغناطیس زدا	۲۱

۲-۴-۲- نفوذپذیری مغناطیسی ۲۲
۲-۴-۳- تلفات مغناطیسی ۲۲
۲-۵- مغناطیس و مواد مغناطیسی ۲۳
۲-۵-۱- مواد دیا مغناطیس ۲۴
۲-۵-۲- مواد پارامغناطیس ۲۴
۲-۵-۳- مواد فرومغناطیس ۲۵
۲-۶- مواد مغناطیسی سخت ۲۵
۲-۷-۱- مواد مورد استفاده در کاربردهای جریان متناوب ۲۶
۲-۷- مواد مغناطیس نرم ۲۶
۲-۷-۲- مواد مورد استفاده در کاربردهای جریان مستقیم ۲۶
۲-۸- پروسه‌های مغناطیس شدن ۲۷
۲-۸-۱- پروسه مغناطیس شدن با استفاده از نظریه حوزه های مغناطیسی ۲۸
۲-۸-۲- دیواره حوزه های مغناطیسی ۳۱
۲-۹- مروری بر خواص میکروساختاری و مغناطیسی آلیاژ آهن-کبالت ۳۲
۲-۹-۱- مغناطش اشباع آلیاژ آهن-کبالت ۳۵
۲-۹-۲- نیروی مغناطیس زدا در آلیاژ آهن-کبالت ۳۸
۲-۹-۲-۱- اثر اندازه دانه بر نیروی مغناطیس‌زدا ۳۸
۲-۹-۲-۲- اثر رسوب بر نیروی مغناطیس‌زدا ۳۹
۲-۹-۲-۳- اثرکار سرد بر نیروی مغناطیس‌زدا ۴۱
۲-۱۰- مروری بر آلیاژسازی مکانیکی ۴۱
۲-۱۰-۱- مقدمه ۴۱
۲-۱۰-۲- مروری بر آلیاژسازی مکانیکی آلیاژ های مغناطیسی نرم ۴۲

فصل سوم: مواد و روش تحقیق ۵۱
۳-۱- مقدمه ۵۱
۳-۲- مواد مورد استفاده ۵۱
۳-۲-۱- پودر آهن ۵۱
۳-۲-۲- پودر کبالت ۵۲
۳-۳- روش انجام آزمایش ۵۲
۳-۳-۱- نمونه‌برداری از پودر جهت تست‌های مختلف ۵۳
۳-۳-۲- آزمایشات انجام شده بر روی پودرها ۵۳
۳-۳-۲-۱- آنالیز تفرق اشعه ایکس ۵۳
۳-۳-۲-۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۳
۳-۳-۲-۳- مغناطیس سنج ارتعاشی ۵۴
۳-۳-۳- تعیین ویژگی‌های پودر با استفاده از نتایج ۵۴
فصل چهارم: یافته‌ها ۵۷
فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری ۸۲
۵-۱ - مقدمه ۸۲
۵-۲- آزمایشات اشعه ایکس ۸۲
۵-۳- بررسی مورفولوژی پودرها و آزمایشات SEM ۸۹
۵-۴- آزمایشات مغناطیسی ۹۱
۵-۴-۱- بررسی مغناطش اشباع ۹۱
۵-۴-۲- اندازه‌گیری نیروی مغناطیس‌زدا ۹۲
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۷
۶-۱- خلاصه نتایج ۹۷
۶-۲- پیشنهادات ۹۸
فهرست منابع ۹۹

فصل اول:

مقدمه

با این روش به‌سادگی تهیه می‌شوند[۶-۹].

در تحقیق حاضر پودرهای نانوکریستال آهن و آهن-کبالت با استفاده از روش آلیاژسازی مکانیکی تولید شدند. بدین منظور پودرهای آهن و کبالت خریداری شده از کمپانی مرک (Merck) با خلوص بالاتر از ۹۹٪ و اندازه ذرات کمتر از ۱۰ میکرون در یک آسیاب سیاره-ای (Fritsch P6) تحت آتمسفر آرگون در زمان‌های مختلف آسیاب شدند.

مورفولوژی و میکروساختار پودرها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز تفرق اشعه ایکس بررسی شد. مغناطش اشباع و نیروی مغناطیس‌زدا توسط مغناطیس‌سنج VSM اندازه‌گیری شد.

این پایان‌نامه شامل ۵ فصل می‌باشد، فصل اول مقدمه و معرفی کلی این پژوهش است. فصل دوم مروری اجمالی بر مکانیزم آلیاژسازی وخواص مغناطیسی مواد و مروری بر تحقیقات گذشته در زمینه آلیاژسازی مکانیکی مواد مغناطیسی نرم می‌باشد. در فصل سوم روش انجام آزمایشات ارائه شده است. فصل چهارم نتایج حاصل از از آزمایشات تجربی را ارائه می‌دهد و سعی شده در هر مورد عوامل موثر بر نتایج حاصله توضیح داده شود. در فصل پنجم چکیده‌ای از نتایج بدست آمده ارائه شده و در پایان هم پیشنهاداتی جهت ادامه پروژه آورده شده است.

امروزه مواد نانوساختار توجه بسیاری از محققین را در سراسر جهان به خود جلب کرده است. از طرف دیگر مواد مغناطیسی نرم در حالت نانوساختار خواص متفاوت و بهبودیافته‌تری نسبت به حالت میکروساختار دارند[۱].

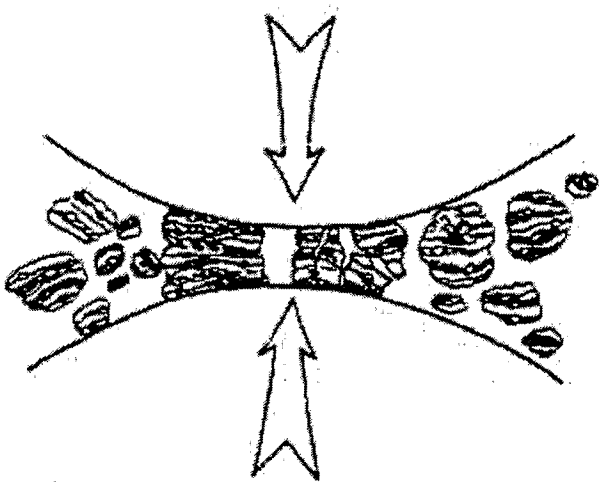
آهن خالص یک ماده فرومغناطیس مناسب است اما مقاومت الکتریکی آن خیلی پایین است. بنابراین تلفات جریان‌های گردابی در آن بالاست. در اثر آلیاژسای آهن با کبالت و نیکل می‌توان خواص مغناطیسی آهن را بهبود بخشید. آلیاژهای آهن-کبالت دارای نفوذپذیری مغناطیسی بالا و نیروی مغناطیس‌زدای پایین می‌باشند. علاوه بر این در بین تمام آلیاژها و ترکیبات شناخته شده آلیاژهای آهن-کبالت دارای بالاترین مقدار مغناطش اشباع می‌باشند. دمای کوری بالای این دسته از آلیاژها به همراه خواص مغناطیسی نرم مناسبی که در بالا ذکر شد باعث شده تا از آلیاژهای آهن-کبالت در کاربردهای دمای بالا به‌صورت وسیعی استفاده شود. تلفات جریان‌های گردابی در اثر آلیاژشدن آهن با کبالت نسبت به آهن خالص کمتر شده که این امر باعث افزایش راندمان سیستم استفاده کننده از این آلیاژ می‌باشد[۲-۵].

امروزه از آلیاژسازی مکانیکی به عنوان یک روش مناسب برای تولید مواد نانوساختار استفاده می‌شود. تجهیزات ساده، عدم نیاز به دماهای بالا، سادگی فرایند و تولید مقدار زیادی از مواد نانوساختار در زمان کوتاه از مزیت‌های عمده این روش می‌باشند. از طرف دیگر محدودیت علمی و آلودگی پودرها از معایب آن می‌باشند. آلیاژسازی مکانیکی با تسریع سینتیک بسیاری از واکنش‌های شیمیایی و استحاله‌های متالورژیکی وقوع آن‌ها را در دماهای پایین امکان‌پذیر میسازد بنابر این بسیاری از مواد و ترکیبات که با استفاده از روش‌های دیگر قابل تولید نیستنند

فصل دوم:
تئوری و مروری بر منابع

۲-۱- تئوری آلیاژسازی مکانیکی

آسیاب‌های به کار گرفته‌شده جهت آلیاژسازی مکانیکی می‌توانند یکی از آسیاب‌های گلوله-ای افقی و عمودی و لرزشی باشند. بعد از ریختن پودرها بدرون آسیاب، بیشترین برخورد موثر از نوع برخورد گلوله - پودر- گلوله می‌باشد. بر مبنای این نوع برخورد و مدل ارائه شده در شکل (۲ – ۱) ذرات پودر بین دو گلوله محصور شده و تحت تغییر فرم پلاستیک و کار سختی قرار می-گیرند. این نوع ضربه اساس کیفی و کمی شرح فرایند آلیاژسازی مکانیکی است[۹].



شکل (۲ – ۱): نمایی از برخورد گلوله - پودر- گلوله [۶].

اگر بر روی ذرات پودر لایه نازکی از ذرات اکسیدی وجود داشته باشد در حین این فرایند به صورت اتمی تمیز می‌شوند، زیرا این لایه‌ها در حین فرایند می‌شکنند. اتصال سرد بین پودرها موقعی صورت می‌گیرد که لایه مذکور حذف شده باشد. از طرف دیگر افزایش مقدار تغییر شکل

پلاستیک و جمع شدن کرنش در ذرات باعث شکسته شدن ذرات می‌شود. این رقابت بین شکست و جوش سرد پودرها تا تمام شدن فرایند ادامه دارد و در حقیقت یک تعادل مناسب بین این دو پدیده برای انجام موفقیت‌آمیز آلیاژسازی مکانیکی صورت می‌گیرد[۹].

برخوردهای صورت‌گرفته بین گلوله‌ها معمولا به صورت الاستیک در نظر گرفته می‌شود. در این حالت هیچ تلفاتی نسبت به انرژی سینتیکی گلوله‌ها نداریم. در بسیاری از برخوردهای واقعی، از برخورد کاملا الاستیک دور نیستیم و می‌توان از تئوری هرتزر [۹] استفاده نمود. این تئوری بر این مبنا می‌باشد که هیچ مقداری از انرژی از بین نمی‌رود. به عبارت دیگر تمام انرژی که صرف تغییر شکل الاستیک گلوله‌ها می‌شود، در آنها ذخیره شده و دوباره به صورت انرژی سینتیک به گلوله دیگر منتقل می‌شود و می‌توان گفت گلوله‌ها دچار تغییر شکل پلاستیک نمی‌شوند. به طور کلی این تئوری در تعیین فشار، زمان فشرده شدن و نواحی فشرده شده در حین آلیاژسازی مکانیکی بسیار موثر است.

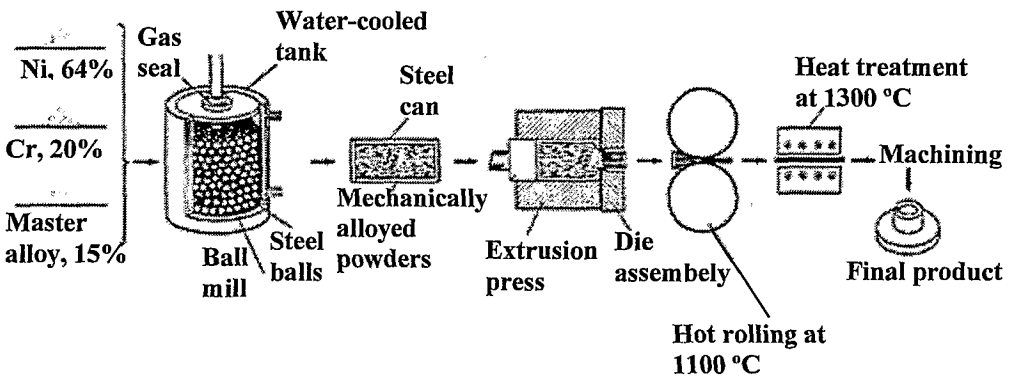
۲-۲- فرایند آلیاژسازی مکانیکی

شکل (۲-۲) به طور شماتیک مسیر فرایند آلیاژسازی مکانیکی را از مواد خام نشان می‌دهد. مواد مصرفی، نوع آسیاب، فرایند ترکیب کردن و جزئیات عملیات حرارتی بر حسب نتیجه مورد نیاز از محصول نهایی متفاوت می‌باشند، اما اصول فرایند یکسان هستند[۱۱]. این فرایند به اینصورت آغاز می‌شود که مخلوطی از پودرها به نسبت‌های مشخص داخل محفظه‌ای با گلوله‌های فولادی آسیاب می‌گردند. سپس برای زمان‌های معینی تا رسیدن به یک حالت تعادل آلیاژسازی

مکانیکی می‌شوند. این حالت را می‌توان بر اساس ماکزیمم سختی پودرها و همچنین توزیع اندازه ذرات تخمین زد. در این مرحله نرخ ریز شدن ذرات درشت به دلیل شکست با نرخ جوش سرد ذرات ریز یکسان شده و توزیع اندازه ذرات در محدوده باریکی قرار می‌گیرد (شکل (۲ –۳)) . در مرحله بعد پودرها با انواع روش‌های متالورژی پودر فشرده شده و عملیات حرارتی، در صورت نیاز بر روی پودرها انجام می‌شود[۱۱].

۲-۳- متغییرهای فرایند آلیاژسازی مکانیکی

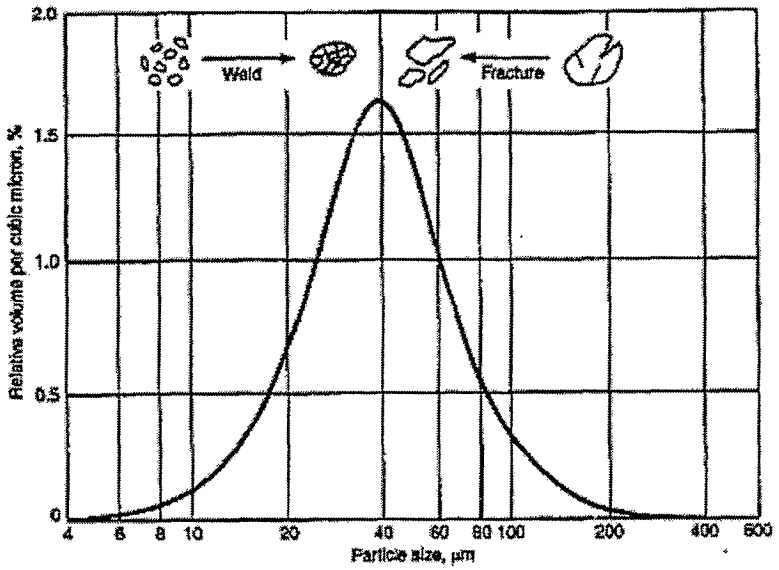
آلیاژسازی مکانیکی یک فرایند پیچیده است که در آن باید متغییرهای زیادی را بهینه کرد تا



شکل (۲ –۲): فرایند تولید محصول از پودر به روش آلیاژسازی مکانیکی[۶]

به ساختار و فاز نهایی مورد نظر دست یافت. بعضی از این پارامترهای مهم عبارتند از : مواد اولیه، نوع آسیاب، محفظه آسیاب، سرعت آسیاب‌کاری، زمان آسیاب کردن، نوع و اندازه گلوله‌ها، نسبت وزنی گلوله‌ها به پودر، مقدار فضای اشغال‌شده محفظه آسیاب، دمای آسیاب‌کاری، استفاده از عامل کنترل فرایند و ... . این پارامترها به طور کامل از یکدیگر مستقل نیستند : برای مثال، زمان

بهینه آسیاب‌کاری به نوع آسیاب، اندازه گلوله‌ها، دمای آسیاب‌کاری، نسبت وزنی گلوله‌ها به پودر وابسته است[۶، ۱۲ و۱۳].در ادامه به بررسی اثر بعضی از این پارامترها پرداخته می‌شود.



شکل (۲ –۳) : توزیع اندازه ذرات در حال تعادل [۱۱]

۲-۳-۱- ماده اولیه

اندازه، شکل، توزیع اندازه‌ی ذرات پودر و میزان خلوص آن از مواردی هستند که کیفیت پودر اولیه را مشخص می‌کنند. هر اندازه ذرات پودر کوچک‌تر و میزان آلودگی آن کمتر باشد،برای استفاده در آلیاژسازی مکانیکی مناسب‌تر است. در مورد فلزات فعال مثل تیتانیوم و آلومینیوم پودر اولیه نباید در معرض هوا باشد[۱۱].

۲-۳-۲- انواع آسیاب های مورد استفاده در فرایند آلیاژسازی مکانیکی

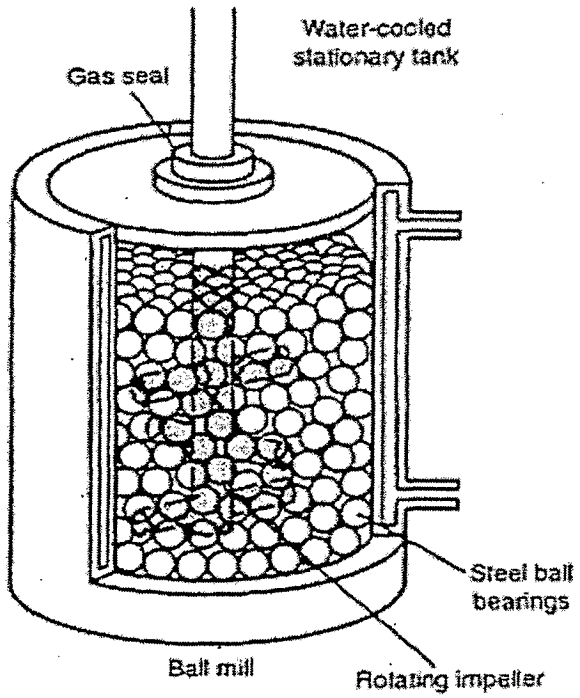
انواع مختلفی از آسیاب‌ها در آلیاژسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تفاوت آسیاب‌ها در

ظرفیت، سرعت، توانایی آنها جهت کنترل دمای آسیاب و مینیمم مقدار آلودگی که وارد پودر می‌کنند می‌باشد. معمولاً متناسب با نوع پودر، مقدار پودر و محصول نهایی مورد نظر یک نوع آسیاب مناسب انتخاب می‌گردد. در آزمایشگاه‌ها بیشتر از آسیاب‌های سیاره‌ای و ارتعاشی استفاده می‌شود ولی در صنعت به‌دلیل ظرفیت بالاتر، آسیاب‌های سایشی و افقی متداول‌ترند [۶].

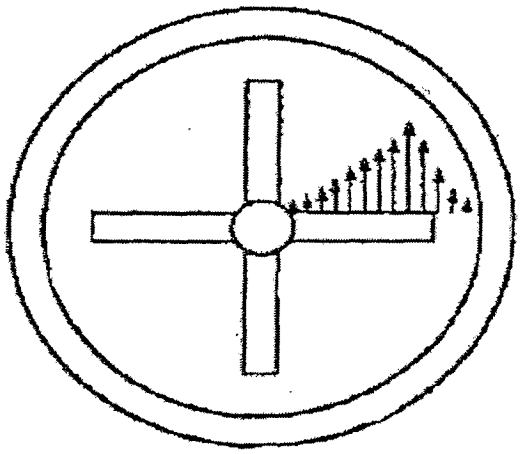
۲-۳-۲-۱- آسیاب سایشی

در این نوع آسیاب که در شکل (۲ –۴) تصویر آن آمده است، در هر مرحله می‌توان مقدار زیادی پودر (۰/۵ تا ۴ کیلو گرم) به داخل محفظه شارژ کرد.این نوع آسیاب در اندازه و ظرفیت-های مختلف موجود می‌باشد.معمولا جنس محفظه آن از فولاد ضد زنگ، زیرکونیا،آلومینا و مولیت می‌باشد[۶ و ۱۴].

آسیاب‌کاری در این نوع آسیاب به وسیله نیروهای ضربه‌ای و برشی صورت می‌گیرد. محصولات آسیاب در مسیرهای گوناگونی حرکت داده می‌شوند و به گلوله‌های مختلف و جداره آسیاب برخورد می‌کنند [۶ و۱۳]. شکل (۲ –۵) شرایط و نحوه سرعت دادن میله متحرک به گوله-ها را نشان می‌دهد. همانطورکه در تصویر مشخص است سرعت گلوله‌ها بسته به وضعیت قرار گرفتنشان نسبت به پره متحرک، متفاوت است و همین امر باعث ایجاد نیرو برشی می‌شود. ماکزیمم به هم خوردن پودر در نقطه‌ای به فاصله دو سوم دورتر از مرکز صورت می‌گیرد. لذا طول پره‌های متحرک را باید به گونه‌ای انتخاب کرد که سایش بر روی دیواره آسیاب به حد اقل مقدار خود برسد. سرعت حرکت گلوله‌ها در این نوع آسیاب به وسیله تنظیم سرعت حرکت میله متحرک کنترل می‌شود [۶ و ۱۵].



شکل (۲ –۴) :شماتیکی از آسیاب سایشی [۶].



شکل(۲-۵): پروفیل سرعت گلوله‌ها در آسیاب سایشی[۶].

زمان لازم برای آسیاب‌کاری در این نوع آسیاب از رابطه زیر به دست می‌آید:

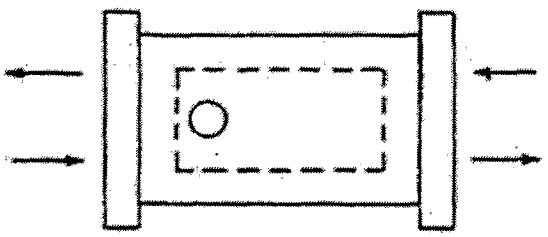
$$t = kd / n \qquad (۲-۱)$$

که t زمان‌لازم برای آسیاب‌کاری جهت رسیدن به اندازه‌ی ذره مورد نظر، d قطر محفظه‌آسیاب،

n سرعت زاویه‌ای میله متحرک بر حسب دور بر دقیقه و k ثابتی که با نوع گلوله و دوغاب تغییر می‌کند[۱۴].

۲-۳-۲-۲- آسیاب ارتعاشی

از SPEX می‌توان به عنوان معروفترین نوع از این آسیاب‌ها اشاره کرد که آسیاب‌هایی با انرژی خیلی بالا می‌باشند. این آسیاب‌ها بیشتر در آزمایشگاه‌ها استفاده می‌شوند و در هر مرحله می‌توان ۱۰ تا ۲۰ گرم پودر به درون آنها شارژ نمود [۴، ۱۰ و ۱۶]. شکل (۲ –۶) تصویر آسیاب را به طور شماتیک و شکل (۲ –۷)تصویری از یک آسیاب SPEX و اجزای آن را نشان می‌دهد. جنس محفظه این آسیاب‌ها معمولا از فولاد ضد زنگ، فولاد سخت شده، زیرکونیا، سیلیکون نیترایید، پلاستیک و پلیمر می‌باشد [۶ و ۱۴].



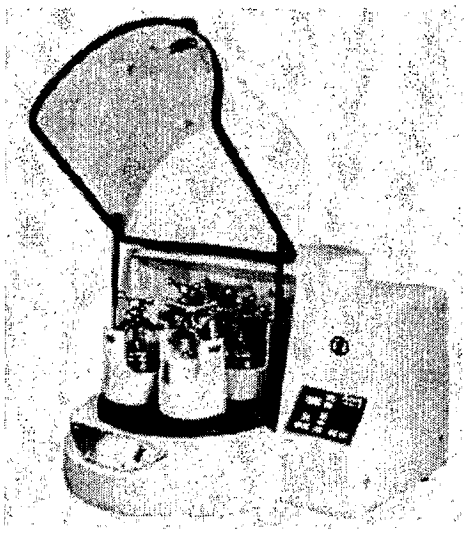
شکل (۲ –۶) : تصویر شماتیک آسیاب گلوله‌ای ارتعاشی[۱۴].

در این نوع آسیاب، حرکت گلوله‌ها توسط حرکت نوسانی بدنه که می‌تواند تا چندین هزار بار در دقیقه باشد، کنترل می‌گردد. در هر نوسان محفظه، ضربه گلوله‌ها به پودر و همچنین به انتهای محفظه موجب آسیاب شدن پودرها می‌شود. به‌خاطر سرعت بالای گلوله‌ها در این نوع از آسیاب‌ها، نیروی ضربه‌ای گلوله‌ها بسیار بالا است [۱۴ و ۱۶].

از آنجا که حرکت گلوله‌ها در این آسیاب‌ها به وسیله حرکت نوسانی کنترل می‌گردد، بنابراین مسیر حرکت گلوله‌ها و ذرات بوسیله فاکتورهای زیادی شامل سرعت و دامنه نوسان، شعاع محفظه آسیاب ، حرکت افقی آسیاب و ... کنترل می‌شود. نرخ تولید در یک آسیاب نوسانی به دانسیته و قطر گلوله‌ها، مکعب فرکانس نوسانات، نسبت جذر قطر گلوله به قطر متوسط ذرات وابسته است [۱۴].

۲-۳-۲-۳- آسیاب سیاره‌ای

از این نوع آسیاب‌ها که در شکل (۲ -۸) تصویر آن آمده است فقط در مقیاس آزمایشگاهی استفاده می‌شود و می‌توان در هر مرحله چند صد گرم پودر به درون محفظه شارژ کرد. محفظه‌ی این نوع آسیاب‌ها همانگونه که از نامشان پیدا است، دارای حرکت سیاره‌ای می‌باشد. جنس محفظه این نوع آسیاب‌ها معمولا از زیرکونیا، سیلیکون، نیتراید، فولاد کرم‌دار، کاربید تنگستن و پلی‌آمید می‌باشد.



شکل (۲ -۸): نمونه‌ای از آسیاب سیاره‌ای [۴].